



排熱回収システム

発明の背景

本発明は、火力発電プラントや軽水炉発電プラント等の蒸気タービン設備の
5 復水器の排熱を、二酸化炭素を冷媒とした圧縮式ヒートポンプを運転して回収
する排熱回収システムに関する。

蒸気タービン設備である火力発電プラントや軽水炉発電プラント等において
は、ボイラー（軽水炉では、沸騰水型炉の炉心又は加圧水型の蒸気発生器）で
10 加熱・沸騰された水の熱を利用して蒸気タービンを駆動して発電しており、蒸
気タービンを駆動させた後の蒸気は、海水や大気により冷却することで水に復
し、ボイラーの給水として循環利用することが一般的である。

例えば図4は従来の蒸気タービン設備を表す系統図である。この蒸気タービ
ン設備20は、ボイラー21で水を加熱・沸騰することで得られた水蒸気を、
タービン22に導入した後、復水器23において、膨張した水蒸気を、冷却媒
15 体である海水や大気で冷却して水に復し、給液ポンプ24によって再びボイラ
ー21の給水として戻すように水の循環経路を形成している。この復水器23
において、膨張した水蒸気を冷却するために用いられた、海水や大気などの冷
却媒体は、その後、海洋や大気中に放出されることとなる。

ここで、蒸気タービン設備である、例えば発電所を考えると、発電効率は最
20 新鋭の複合火力発電所で約53%であり、最新軽水炉では約34%である。し
たがって、これらの発電プラントでは、それぞれ、供給された熱の約1/2～
約2/3は温排水として海洋などに放出され、有効にエネルギーとして利用さ
れていないため、燃料資源の有効活用の面と温排水の環境放出の面で問題があ
った。

25 また、復水器から排出される冷却媒体の例えば海水は、入り口温度に比べ
7°C程度高いだけであり、排出される冷却媒体からの熱回収には設備費がかさ

むこともあり、現在のところ、排出される冷却媒体の熱利用の例としては、魚の養殖などへの利用が実現されているのみである。

このような状況を鑑み、特開平05-296009号公報には、蒸気ターピン復水器の冷却水を利用して、吸収式冷凍機の蒸発器に前記冷却水を通水し、

5 暖房用温水を作り出す排熱回収システムが提案されている。

しかしながら、特開平05-296009号公報に記載の排熱回収システムには、以下のような課題があった。

特開平05-296009号公報に記載の排熱回収システムでは、吸収式冷凍機を用いて温水を発生させる方式を探っている。しかし、吸収式冷凍機は、

10 冷媒のほかに吸収溶液という作動媒体が必要であり、また、蒸発器のほかに吸収器、再生器、更に熱効率を向上させようとすれば高温再生器など多数の要素が必要となり、どうしても大型になり易い。さらに、吸収式冷凍機の吸収器は、内部で吸収溶液と冷媒、冷却水とが、熱交換と物質交換、相変化を同時にを行うために構造が複雑で小型化が困難であるという問題がある。

15 また、現在用いられている吸収溶液-冷媒の組合せとしては、臭化リチウム-水の系統と、水-アンモニアの系統の2通りが良く知られている。臭化リチウム系の吸収液は鉄などを腐食し、アンモニア系の冷媒は銅を腐食させることが知られており、吸収式冷凍機では腐食対策が常に大きな技術的課題となっている。また、吸収式冷凍機は吸収溶液の物性（晶析の条件）や、冷水、冷却水、
20 温水などの条件で運転時に制約が多く、運転管理に手間がかかるという欠点がある。

また、特開平05-296009号公報に記載の排熱回収システムでは、復水器と吸収式冷凍機の蒸発器との間に、水等による冷却水回路を介在させるため、復水器における熱交換効率が低く、復水器自体も小型化できないという問題もあった。

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みなされたものである。

発明の要約

本発明の一側面として、蒸気タービン発電プラントの復水器の排熱を、圧縮式ヒートポンプで直接回収することを特徴とする排熱回収システムを提供する。

圧縮式ヒートポンプは、単一の冷媒のみを用いるため構造が簡単で、小型で
5 あり、エネルギー効率も良好である。特に、圧縮式の冷凍機の熱交換器は主と
して蒸発器と凝縮器の二つのみで、相変化しかしないためにプレート式熱交換
器などを容易に採用でき、小型化が容易である。また、鉄を腐食する冷媒は少
ないため、安価な鉄を容易に用いることができ、特定の金属に注意することで
腐食の対策も比較的容易である。このため装置の作成が容易であり、吸収式冷
10 凍機を用いた場合に比べ、運転管理も容易となる。

また、復水器において冷却水などの熱媒体を介さずに直接、冷媒と水に復す
る水蒸気との間で熱交換を行うため、熱交換に冷却水などを用いる場合に比べ、
熱の損失が小さく、エネルギーのロスを最小限に抑えることができる。

前記排熱回収システムで用いる圧縮式ヒートポンプの冷媒には、二酸化炭素
15 を利用するのが望ましい。

圧縮式ヒートポンプで広く用いられているクロロフルオロカーボン (CFC)
等は、環境負荷が懸念されているために近年使用が困難になってきている。
また、代替の冷媒として注目されているアンモニアは、有毒であり、特有の臭
気があるため使用に困難が伴う。

20 表1は、圧縮式ヒートポンプで用いられる代表的な冷媒を示したものである。

表 1

冷媒の名称	地球温暖化係数	毒性	可燃性	成績係数*
二酸化炭素	1	無	無	同等
アンモニア	0	有	弱燃性	同等以上
空気	0	無	無	低い
プロパン	3	無	弱燃性	同等以上
代用フロン R 407C	1500	無	無	同等
代用フロン R 410C	1700	無	無	同等
現用フロン	1700	無	無	同等

* : 現用フロンを基準にしたもの

(出典: 省力中央研究所資料)

この表の中で二酸化炭素は毒性もなく、環境負荷も他の冷媒に比べ低いため、

理想的な冷媒である。また、フロンの臨界温度は約100°Cと高いため、温水温度はエネルギー消費効率面から約65°Cが上限であるのに対して、臨界温度が31°Cの二酸化炭素では約90°Cの温水が供給できる。このことより、排熱回収システムにより発生する温水を、効率の良いエネルギー輸送を行うことが可能となる。また、発生する温水が高温であることと、安定した温水供給が可能であるため、暖房用温水としての利用だけでなく、地域冷暖房用の温水としても利用することができる。

このように、圧縮式ヒートポンプの冷媒に二酸化炭素を利用することによって、環境負荷が小さく、多用途に使用できる排熱回収システムを提供できるようになる。

さらに、前記排熱回収システムは、復水器から熱回収の際に、除熱性能の高い沸騰伝熱を利用するのが望ましい。

沸騰伝熱は蒸発潜熱を利用することで、熱伝達効率が高いことが知られている。したがって、この沸騰伝熱を利用して復水器において熱交換することにより、効率の高い熱交換が可能であり、復水器を小型化することができる。

5 このように、本発明によって、水蒸気によってタービンを回して動力を取り出す蒸気タービン設備の復水器において、発生する排熱を、直接圧縮式ヒートポンプによって回収して温水を生成し、それらを利用することによって、従来蒸気タービン設備で廃棄されていた熱を有効利用でき、小型でかつ運転管理の容易な排熱回収システムを提供することができる。

本発明の他の利点およびさらなる特徴は、添付図面を参照しつつ以下に説明する、好ましい実施の形態から容易に理解されるであろう。

図面の簡単な説明

10 図1は、排熱回収システムの系統図である。

図2は、圧縮式ヒートポンプの冷凍サイクルを示すP-h線図である。

図3は、復水器入口冷却温度に対する伝熱面積比のグラフを表す図である。

図4は、従来の蒸気タービン設備を示す系統図である。

15 好ましい実施形態の詳細な説明

以下、本発明の実施の形態を添付図面に基づいて説明する。しかしながら本発明は、この実施の形態に記載される構成部品の寸法、材質、形状、その相対配置などは、特に特定的な記載のない限り、限定されるものではなく、本発明の範囲内において修正、変更を加えることは勿論である。

20 例えば、図1は本実施の形態における、蒸気タービン設備の排熱回収システムの系統図である。

図1に示した排熱回収システムは、蒸気タービンを用いて発電を行う蒸気タービン発電プラント部1と、蒸気タービン発電プラント部1の復水器6の排熱を利用して温水を発生するヒートポンプ部2に大きく分けられる。

蒸気タービン発電プラント部1は、ボイラー3と、発電機4が連結されたタービン5を備え、タービン5の出口側とボイラー3の入り口側との間に復水器6及び給液ポンプ7が介装され構成されている。

本発明の中核をなす、ヒートポンプ部2は、圧縮機8と、冷媒と負荷側の温水とを熱交換するガスクーラ9及び膨張機10から構成され、本実施の形態では、ヒートポンプ部2の冷媒として二酸化炭素を用いるとともに、膨張機10出口側経路を復水器6の伝熱管入口側に、該伝熱管出口側を圧縮機8の吸入側に接続させている。

このため、復水器6において、タービン5から導入された水蒸気との熱交換の際に蒸発した冷媒の二酸化炭素は、圧縮機8で吸入圧縮された後、ガスクーラ9での負荷側の温水との熱交換により冷却されて膨張機10に導入されて膨張・液化された後、復水器6の冷却に再び供されて、ヒートポンプサイクルを繰り返す。以上より、復水器6において、沸騰により発生する気体の二酸化炭素（冷媒）は、直接、圧縮式ヒートポンプの熱媒体として用いられ、装置の簡素化と効率的な熱回収の達成が可能となる。

次に図1に示す、本実施形態における排熱回収システムの動作について説明する。始めに、蒸気タービン発電プラント部1の動作について説明すると、ボイラー3で加熱された水蒸気は、タービン5へ導入されて、タービン5を回し、これによって発電機4を駆動させる。そして、タービン5において発電機を駆動した後、膨張されて排出された水蒸気（復水器圧力約96.3KPa、約33°C）は、復水器6において飽和温度（復水器圧力約96.3KPa、約33°C）の水に復する。その後、復水器6において復された水は給液ポンプ7によって、水蒸気発生用の給水として、再びボイラー3に供給される。

この復水器6において、タービン5から導入される水蒸気を、水に復すために発生する排熱は、復水器6に接続された、圧縮式ヒートポンプを用いたヒートポンプ部2に回収される。

統いて、ヒートポンプ部2の動作について図1と図2を参照して詳しく説明する。ここで、図2は、本実施形態の圧縮式ヒートポンプの冷凍サイクルを示す、二酸化炭素のP-h線図の例であり、縦軸と横軸がそれぞれ圧力Pとエンタルピーhを表わしている。なお、以下の説明で用いる符号のA、B、C、Dは、それぞれ圧縮式ヒートポンプの冷媒である二酸化炭素の状態（温度、圧力）を指しており、図1のヒートポンプ部2における符号A、B、C、Dは、図2のP-h線図における符号A、B、C、Dに対応する状態（温度、圧力）にあることを示している。

まず、タービン5から排出され、復水器6に導入された水蒸気は、復水器6内の熱交換器（図示せず）において、液体の二酸化炭素（例えば、A：約20°C、5.7MPa）と熱交換され、冷却されて水に復する。

このとき、復水器6で水蒸気から熱を奪った冷媒の二酸化炭素は沸騰し、気体の二酸化炭素（B：約25°C、5.7MPa）へ状態変化する（点A→点B）。

次に、気体の二酸化炭素（B：約25°C、5.7MPa）は、圧縮機8において圧縮され、約90°Cの気体の二酸化炭素（点C：約90°C、12MPa）に昇温される（点B→点C）。この昇温された二酸化炭素（点C：約90°C、12MPa）はガスクーラ9に導かれ、ガスクーラ9内の熱交換器（図示せず）において、負荷側の温水と熱交換され、約30°C（点D：約30°C、約12MPa）まで冷却される（点C→点D）。

一方、ガスクーラ9において、負荷側の温水は、冷媒の二酸化炭素との熱交換によって、入口温度約25°Cから出口温度約80°Cまで昇温され、昇温された温水は、家庭、オフィスビル、工場などの暖房用温水や温水プール等の熱源、そして地域冷暖房用の熱源温水として利用される。

また、ガスクーラ9において約30°Cになった冷媒の二酸化炭素（点D：約30°C、約12MPa）は、膨張機10において約12MPaから約5.7M

Paまで減圧されることにより約20℃まで冷却され、液体の二酸化炭素（点A：約20℃、5.7MPa）に復する（点D→点A）。この液体の二酸化炭素（点A：約20℃、5.7MPa）は、復水器6の冷却媒体として、再び供給される。

5 以上より、圧縮式ヒートポンプによる熱回収により、従来の蒸気タービン設備では復水器を通じて海洋や大気中に廃棄されていた排熱を温水として有効利用できる。

さらにかかる実施の形態によれば、圧縮式ヒートポンプの冷媒の蒸発潜熱を利用して熱除去することにより、熱伝達性能の高い沸騰熱伝達が利用でき、復10水器6を小型化することができる。例えば図3は、復水器入口冷却温度に対する伝熱面積比のグラフであるが、このグラフによると、同じ冷却温度で比較すると、液体二酸化炭素を用いて冷却する場合に必要な復水器の伝熱面積は、海水を用いて冷却する場合に必要な復水器の伝熱面積の約1/2であることがわかる。

15 また、冷媒として二酸化炭素を用いるため、前記のように安全で、かつ脱フロンができる。また、フロンは臨界温度が約100℃と高いため、温水温度はエネルギー消費効率面から約65℃が上限であるのに対して、臨界温度が約31℃の二酸化炭素では、約80℃の温水が供給できるため、地域冷暖房の熱源として利用することも可能である。

20 以上の構成と作用からなる本発明によれば、以下の効果を奏する。

従来の蒸気タービン設備では復水器を通じて海洋や大気中に放出してきた排熱を有効に利用することができ、また回収した熱量分の二酸化炭素の削減が可能であり、地球温暖化防止に貢献できる。

また、圧縮式ヒートポンプを用いることで、吸式冷凍機を用いた場合に比べ、装置全体の小型化が実現でき、また運転管理も容易な排熱回収システムが実現できる。

また、圧縮式ヒートポンプの冷媒に二酸化炭素を用いることで、環境負荷を小さくでき、発生する温水の温度が高温であるため、発生した温水を多用途に使用できる。

また、復水器での熱交換に熱交換効率の高い、沸騰伝熱を利用することにより、熱交換効率が高く、かつ復水器自体の小型化を実現できる。

また、復水器において冷却水を用いず、直接冷媒の二酸化炭素と熱交換を行うため、海水等の従来の冷却媒体が不要となり、冷却水が調達できない内陸や、地下等においても排熱回収システムを設置することができる。

特許請求の範囲：

1. 蒸気タービン設備の復水器の排熱を回収して温水を得る排熱回収システムであって、
 - 5 前記復水器の冷却媒体側回路と、圧縮式ヒートポンプの熱回路を接続し、前記蒸気タービン設備の排熱を、前記圧縮式ヒートポンプで直接回収すること、を特徴とする排熱回収システム。
- 10 2. 前記圧縮式ヒートポンプの冷媒に、二酸化炭素を用いたこと、を特徴とする請求項1に記載の排熱回収システム。
- 15 3. 前記復水器において、蒸気タービンから導入された蒸気と前記圧縮式ヒートポンプの冷媒との熱交換の際に、前記冷媒側の伝熱機構に沸騰伝熱を用いること、を特徴とする請求項1に記載の排熱回収システム。
- 20 4. 前記復水器において、蒸気タービンから導入された蒸気と前記圧縮式ヒートポンプの冷媒との熱交換の際に、前記冷媒側の伝熱機構に沸騰伝熱を用いること、を特徴とする請求項2に記載の排熱回収システム。

開示の要約

従来、その排熱を、海洋中や、大気中に放出してきた蒸気タービン設備の復水器において、冷却媒体として従来の海水や大気に代えて液体二酸化炭素（約

5 20°C、約5.7 MPa）を用い、除熱特性の高い沸騰伝熱により行う。生成

した気体の二酸化炭素をヒートポンプの作動熱媒体に直接用い、12 MPa 程度への加圧により昇温し、80°C程度の温熱を回収し、暖房等の利用に供する。

その後、降圧し液体二酸化炭素（約20°C、約5.7 MPa）に戻し、再び復水器の冷却に用いる。これにより、排熱を経済的に回収・利用するとともに、

10 排熱の外部環境への放出を低く抑えることができる。